中国生态农业学报 2016 年 1 月 第 24 卷 第 1 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jan. 2016, 24(1): 90−97

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.150599

木霉制剂改良滨海盐渍土台田生态效应*

陈建爱[1] 段友臣[1] 郭 峰[2] 杨武汉[4] 陈为京[2**] 万书波[3**]

(1. 山东省农业科学院农产品研究所/原子能农业应用研究所 济南 250100; 2. 山东省农业科学院生物技术研究中心 济南 250100; 3. 山东省农业科学院 济南 250100; 4. 山东省东营市垦利县农业局 垦利 257500)

摘 要 生物改良滨海盐渍土是一种投资少、需时短、见效快、长期受益的环保生态型技术。通过田间试验将木霉制剂[活性成分为木霉分生孢子, 1×10^7(CFU)·g^{-1}]施用到滨海中度盐渍土台田(含盐量 2.99 g·kg^{-1}, 砂壤土), 对土壤改良台田试验区不同处理(施用木霉制剂和常规对照处理)及辅助试验区日光温室(含盐量 0.98 g·kg^{-1}, 壤土)、滨海轻度盐渍土开垦田(含盐量 1.75 g·kg^{-1}, 轻壤土)、滨海重度盐渍土河滩地(含盐量 26.19 g·kg^{-1}, 砂壤土)的耕层土壤取样室内测定, 探究木霉在滨海中度盐渍土台田施用的生态效应。滨海中度盐渍土台田木霉处理与对照处理相比, 土壤紧实度提高 177.04%, 土壤水稳性团聚体数量(≥0.25 mm)提高 265.78%, 土壤含水率提高 320.83%, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高 96.14%、42.17%、105.65%和 63.79%; 土壤稀释法培养微生物, 细菌、放线菌、真菌、固氮菌数量比对照分别提高 170.95%、82.68%、152.17%和 471.93%。滨海中度盐渍土台田木霉处理与滨海重度盐渍土河滩地比较, 有利于植物生长的指标土壤紧实度、水稳性团聚体、有机质和微生物群落数量分别提高 1.53 倍、2.11 倍、3.20 倍和 28.33 倍, 不利植物生长的水溶性盐下降 96.60%; 滨海中度盐渍土台田通过木霉制剂改良, 土壤紧实度、总孔隙度、含水率、有效磷、有机质和微生物数量与滨海轻度盐渍土开垦田相比无显著差异; 滨海中度盐渍土台田木霉处理后土壤容重降低、总孔隙度增加, 与高产日光温室非盐渍化土壤相比接近。滨海重度盐渍土通过沙土抬高 1.2 m 筑田变为中度盐渍土, 降盐效果较好, 再通过加入生物改良措施提高土壤营养和有益微生物, 优化土壤团粒结构, 利于提高滨海中度盐渍土台田改良效率和质量, 促进滨海中度盐渍土台田生态的改善。

关键词 木霉 滨海盐渍土 台田 土壤改良 生态效应
中图分类号: S314 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)01-0090-08

Ecological effect of *Trichoderma* agent on platform field soil improvement in saline coastal area*

CHEN Jian'ai[1], DUAN Youchen[1], GUO Feng[2], YANG Wuhan[4], CHEN Weijing[2**], WAN Shubo[3**]

(1. Institute of Agro-food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Science / Institute for Application of Atomic Energy, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan 250100, China; 2. Biotechnology Research Center, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan 250100, China; 3. Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan 250100, China; 4. Agricultural Bureau of Kenli County, Kenli 257500, China)

Abstract Application of biological agents to improve saline soil is a relatively fast, economical, simple method with long-term effectiveness. *Trichoderma* spp. are free-living fungi that are highly active in interaction among root, soil and foliar environments. Biological agents application in agricultural systems is a potential method to ameliorate saline soil, eventually benefiting the environment or ecosystem by regulating soil physical and chemical properties and microbial population. In this

* 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-14)资助
** 通讯作者: 陈为京, 主要从事作物栽培生态生理研究, E-mail: chenwj_6677@163.com; 万书波, 主要从事花生栽培生理和安全生产研究, E-mail: wansbsaas@yahoo.cn
陈建爱, 研究方向为微生物资源的应用研究。E-mail: jianai7447@163.com
收稿日期: 2015−05−22 接受日期: 2015−10−08
* Supported by the Special Fund for the Industrial Technology System Construction of Modern Agriculture of China (No. CARS-14)
** Corresponding author, CHEN Weijing, E-mail: chenwj_6677@163.com; WAN Shubo, E-mail: wansbsaas@yahoo.cn
Received May 22, 2015; accepted Oct. 8, 2015

study, broadcast granule preparation of *Trichoderma* agent (containing at least 1×10^7 colony-forming units of active ingredients for per gram dry weight) was applied to soil of moderately saline coastal platform fields to explore effect of *Trichoderma* agent on soil properties of moderately saline coastal platform field. Arable layers soils were sampled, which included moderately saline coastal platform field with (T1010) and without (CK) *Trichoderma* agent under peanut cropping (sandy loam soil with salt content of 2.99 $g\cdot kg^{-1}$), flood land in coastal saline area (sandy loam soil with salt content of 26.19 $g\cdot kg^{-1}$), reclaimed field in coastal slight saline area under continuous cotton cropping (light loam soil with salt content of 1.75 $g\cdot kg^{-1}$), non-saline solar-greenhouse soil under continuous tomato cropping (loam soil with salt content of 0.98 $g\cdot kg^{-1}$). All the plot samples were repeated four times, and the physical, chemical and biological properties tested in laboratory. The results showed that *Trichoderma* agent amended soil physical properties. Compared with CK, T1010 increased soil compaction by 177.04%, content of water stable aggregate of ≥0.25 mm by 265.78%, soil moisture content by 320.83%. In this study, soil chemical properties also changed. The contents of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter increased by 96.14%, 42.17%, 105.65% and 63.79%, respectively, under T1010 compared with those under CK. Under T1010, soil bacteria, actinomyce, fungi and azotobacters amounts increased by 170.95%, 82.68%, 152.17% and 471.93%, respectively, compared with those under CK. Beneficial properties to plants growth (e.g., soil compaction, ≥0.25 mm water stable aggregate, organic matter, microbial amount) of moderately saline coastal platform soils with *Trichoderma* agent (T1010) increased, respectively, by 1.53, 2.11, 3.20 and 28.33 times over that of flood land in coastal saline area. On the contrary, harmful property to plants growth, water soluble salts, reduced by 96.60%. Properties (such as soil compaction, porosity, moisture, contents of phosphorus and organic matter, and microbial amounts) of *Trichoderma*-amending moderately saline coastal soils were not significantly different from that of slightly saline coastal alkali soils. Reduced bulk density or increased porosity of moderately coastal saline platform fields with *Trichoderma* were close to that of the non-saline solar-greenhouse soils. Application of microbiological agents effectively improved soil properties of moderately saline coastal platform fields and ameliorated the ecological environment by enhancing soil aggregate structure, increasing soil nutrient and beneficial microorganisms amount.
Keywords　*Trichoderma*; Saline coastal soil; Platform field; Soil amelioration; Ecological efficiency

土壤是我们赖以生存的物质基础，是不可缺少、不可再生的自然资源。农业种植的基础是土壤，黄河三角洲滨海盐渍土面积大，仅盐荒地就有 23.45 万 hm^2，是极其可贵的后备土地资源。而盐渍土台田是盐渍土改良的一种方式，海拔提高利于盐碱下渗，降低土壤表层盐碱度[1]，但台田属于新建沙土地，土壤结构性差，营养贫瘠，土质松散吸水保肥差，作物不易生长。土壤微生物数量的多少和种类关系到土壤的质量[2−4]，利用土壤中特定微生物群体改良土壤，提高土壤生产能力，提升土壤的质量，建立更好的土壤生态环境，促进作物生长，促进土地资源的开发利用与农业可持续发展具有重要现实意义。

木霉作为很好的生防因子几十年来多方面对其展开了研究，研究表明木霉对土传病菌具有拮抗作用[5−6]，还诱导植物产生抗病性[7]，促进植物生长和发育[8]，是良好的生态型生防因子。环境友好型微生物在改善土壤生态环境方面作用显著：一是促进作物对氮、磷、钾和微量元素的吸收，提高肥料利用率[9−10]；二是改善土壤结构，促进土壤有益微生物群落的建立和保持[11−13]；三是缓解土壤重金属污染，对环境生态进行生物修复[14]。本课题组选育的黄绿木霉 T1010 对部分作物土传病害具有拮抗作用[6]，田间应用效果明显[15]，黄绿木霉 T1010 改变土壤根际微生物种群数量[11,13]，木霉对滨海中度盐渍土台田土壤理化性状的改良效果研究很少[12]。本试验旨在通过施用木霉制剂于滨海中度盐渍土台田，分析其对土壤的改良效应，探索其改良滨海中度盐渍土台田的作用机制，为进一步改善滨海中度盐渍土台田土壤综合生态服务功能、促进农林牧业生产奠定基础。

1　材料与方法

1.1　供试材料

木霉制剂由山东省农业科学院农产品研究所自行研制，主体菌株黄绿木霉 T1010(*Trichoderma aureviride* 1010)含量为 1×10^7 $CFU\cdot g^{-1}$，其他肥料为当地常规用肥。试验用花生(*Arachis hypogaea*)品种为‘花育 20 号’(山东省花生研究所提供)。

1.2　试验设计

试验设土壤改良试验和辅助试验。

土壤改良试验于2011年在山东省垦利县滨海中度盐渍土台田进行。试验设两个处理，木霉制剂和常规处理，每小区面积为 133.4 m^2，双行覆膜播种，行长 40 m，垄宽 0.8 m，每穴播花生 2 粒，每公顷播 135 000 穴，各处理重复 4 次，共 8 个小区。复合肥

每公顷施 750 kg，每公顷施木霉制剂 150 kg，种植花生前，将木霉制剂和肥料分别作为基肥在不同小区施入。其他同常规管理。

辅助试验依黄河三角洲滨海平原形成的时间及自然植被改土的时间不同，选取有代表性的 3 种：寿光日光温室为曾经的滨海盐渍土经过多年改造成为高产田，滨海轻度盐渍土开垦田为曾经的滨海盐渍土经逐年改造成为中低产田，滨海盐渍土河滩区为黄河造陆运动形成的新陆地重度盐渍土河滩地。每小区 0.1 hm^2，种植作物及其管理均为试验地点的常规种植作物和管理方法或自然生长的植物。

各试验地点的基本情况见表 1。

表 1　不同试验地点土壤理化性状及植被

Table 1　Physical and chemical properties of soils in different test places

试验地点 Test place[1)]	土壤类型 Agrotype	土壤结构 Soil structure	土壤肥力 Soil fertility	有机质 Organic matter[2)] ($g·kg^{-1}$)	盐碱度 Salinity	土壤含盐量 Soil salinity[3)] ($g·kg^{-1}$)	植被 Vegetation[4)]
滨海盐渍土台田 Platform fields in coastal saline area	砂壤土 Sandy loam	单粒结构 Single grained	极低 Very low	1.06	中度 Moderate	2.99	柳树–花生 *Salix* spp.-*Arachis hypogaea*
滨海盐渍土河滩地 Flood land in coastal saline area	砂壤土 Sandy loam	单粒结构 Single grained	极低 Very low	2.13	重度 Severe	26.19	柽柳–柽柳 *Tamarix* spp.-*Tamarix* spp.
滨海盐渍土开垦田 Reclaimed field in coastal saline area	轻壤土 Light loam	块状结构 Blocky	低 Low	3.72	轻度 Slight	1.75	棉花–棉花 *Gossypium* spp.-*Gossypium* spp.
日光温室 Solar-greenhouse	壤土 Loam	团粒结构 Granular	高 High	17.01	非盐渍化 Non salinization	0.98	番茄–番茄 *Lycopersicon esculentum*-*L. esculentum*

1)辅助试验的试验点，从滨海盐渍土河滩地、滨海盐渍土开垦田到日光温室土壤质量不断提升，代表黄河三角洲滨海平原盐渍土的改良程度，下同。2)2011 年 4 月 15 日采样测量。3)春初含量。4)种植作物为上季作物(2010 年)和试验季作物(2011 年)。1) Assistant test places. The soil qualities of assistant test places increase from flood land in coastal saline area, reclaimed field in coastal saline area, to solar greenhouse, representing increased degree of soil reclamation of coastal saline area in the Yellow River Delta. The same below. 2) These samples were collected and tested on April 15, 2011. 3) Data of the early spring. 4) These crops were the last season crops (2010) and the test crops (2011).

1.3　检测项目与方法

2011 年 6 月 19 日花生开花下针期各试验区采用交叉五点法分别采集耕层土壤土样。每个处理重复 4 次。

耕层土壤结构检测的主要指标包括水稳性团聚体数量，具体方法在参照邵明安等[16]方法基础上，将处理时间延长至 10 min；耕层土壤化学性状的主要检测指标包括有机质、pH 值、碱解氮、有效磷、速效钾、水溶性盐分等，以及土壤物理性状指标，包括土壤容重、密度和总孔隙度等，均参照劳家柽[17]的方法测定。耕层土壤生物化学性状的主要检测指标包括蛋白质和核酸，采用紫外吸收法测定。耕层土壤微生物群落的分离、培养和统计采用稀释平板法；细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、放线菌采用高氏合成 1 号琼脂培养基、真菌采用马丁孟加拉红链霉素琼脂培养基、固氮菌采用阿须贝(Ashby)培养基，在 26 ℃、37 ℃恒温培养箱中保湿培养；细菌培养 3~5 d，固氮菌、放线菌、真菌培养 7~10 d，统计菌落数。

1.4　统计分析

依据计算公式进行结果计算，用 SAS 统计软件(SAS，Version 8.2)分析试验结果，ANOVA 分析不同来源土样之间的差异性，Duncan 多重分析多个土样间的差异性。

2　结果与分析

2.1　木霉制剂对滨海中度盐渍土台田土壤物理性状的影响

木霉制剂作为基肥撒播滨海中度盐渍土台田土壤后种植花生，在花生开花下针期对土壤物理性状进行测定，结果见表 2。从表 2 可以看出，不同试验地(处理)间土壤紧实度、容重、密度、总孔隙度、水稳性团聚体和含水率差异极显著($P<0.001$)。土壤紧实度从大到小依次为：日光温室>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(CK)；滨海中度盐渍土台田木霉制剂处理的土壤紧实度比对照提高 176.68%，差异极显著($P<0.001$)，但与滨海轻度盐渍土开垦无显著差异。土壤容重从大到小依次为滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>日光温室；木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田土壤容重与日光温室差异不显著($P=0.051\ 2$)，与对照差异极显著($P=0.001\ 8$)。土壤密度从大到小依次为滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海轻度盐渍土开垦田>

日光温室; 滨海中度盐渍土台田经木霉制剂处理后土壤密度与对照差异显著(P=0.033 1)。土壤总孔隙度最高的是滨海中度盐渍土台田木霉处理的土壤和日光温室土壤, 均超过 50%, 且两者无显著差异(P=0.690 8); 最小的是滨海重度盐渍土河滩地, 只有 36.64%。土壤水稳性团聚体(≥0.25 mm)数量最多的为日光温室土壤和滨海轻度盐渍土开垦田, 滨海重度盐渍土河滩地和滨海中度盐渍土台田(CK)土壤水稳性团聚体数量很少; 木霉制剂处理使滨海中度盐渍土台田土壤水稳性团聚体数量比对照提高 265.78%, 差异极显著(P=0.000 2)。来源不同土样含水量也表现不同, 滨海重度盐渍土河滩地土壤含水量最高; 滨海中度盐渍土台田海拔高水分蒸发快, 持水量低, 含水量仅为 1.81%, 木霉制剂处理使其土壤水量提高 320.83%, 差异极显著(P<0.000 1)。滨海中度盐渍土台田土壤沙性大, 土壤吸水性能差, 涝不透气, 旱不保水, 木霉制剂对土壤团聚体的形成和结构性的改善具有良好的影响。

表 2 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田耕层土壤主要物理性状的影响

Table 2 Influence of *Trichoderma* agent on major physical properties of arable layer soil in coastal moderate saline area

指标 Index	试验地点 Test place				
	非盐渍化土日光温室 Non saline solar-greenhouse	滨海重度盐渍土河滩地 Flood land in coastal saline area	滨海轻度盐渍土开垦田 Reclaimed field in coastal slight saline area	滨海中度盐渍土台田(T1010) Platform fields in coastal moderate saline area with *Trichoderma*	滨海中度盐渍土台田(CK) Platform fields in coastal moderate saline area
紧实度 Hardness (kg·cm^{-3})	18.06±0.62A	2.11±0.21C	5.85±0.38B	5.34±0.25B	1.93±0.21C
容重 Bulk density (g·cm^{-3})	1.23±0.03C	1.81±0.01A	1.37±0.02B	1.29±0.02C	1.40±0.02B
密度 Density (g·cm^{-3})	2.51±0.01D	2.86±0.03A	2.58±0.01D	2.67±0.04C	2.75±0.03B
总孔隙度 Porosity (%)	50.95±1.01A	36.64±0.68C	47.08±1.10B	51.50±1.16A	49.17±0.71AB
水稳性团聚体 Water-stable aggregate (≥0.25 mm) (%)	14.53±0.76A	2.48±0.50C	12.29±0.90A	7.72±1.26B	2.11±0.27C
含水率 Moisture (%)	13.45±0.12A	15.21±0.49A	8.65±0.27B	7.60±0.28B	1.81±0.20C

T1010 为木霉制剂处理, 不同大写字母表示不同试验地点间在 0.01 水平差异显著。下同。T1010 means treatment of *Trichoderma* agents application. Significant differences at 0.01 level among different test places were indicated by different capital letters according to Duncan's method. The same below.

2.2 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田土壤化学性状的影响

表 3 表明, 不同样点土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量及体现盐渍土特点的 pH 及水溶性盐含量差异极显著(P<0.001)。日光温室属于高肥力, 而其他 4 种滨海盐渍土属于低肥力。4 种滨海盐渍土土壤碱解氮含量从大到小依次为: 滨海重度盐渍土河滩地>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK); 木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田土壤碱解氮含量比对照提高 96.14%, 差异极显著(P=0.000 3)。土壤有效磷含量从大到小依次为: 滨海重度盐渍土河滩地>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK); 木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与滨海轻度盐渍土开垦田无显著差异(P=0.254 7), 比对照提高 42.17%, 差异显著(P=0.019 6)。土壤速效钾含量从大到小依次为: 滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(CK); 木霉制剂处理使滨海中度盐渍土台田速效钾含量提高 105.65%, 差异极显著(P<0.001)。土壤有机质含量从大到小依次为: 滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海重度盐渍土河滩地; 木霉制剂处理使滨海中度盐渍土台田土壤有机质含量提高 63.79%, 差异极显著(P=0.001 3)。盐渍土土壤偏碱, 雨季碱性仍很大, 木霉制剂处理的土壤碱性也很大, 各土样 pH 差异不大。土壤水溶性盐滨海重度盐渍土河滩地含量最高, 从大到小依次为: 滨海重度盐渍土河滩地>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK); 木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田比滨海轻度盐渍土开垦田降低 56.25%。可见, 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田耕层土壤碱解氮、速效钾、有效磷、水溶性盐和有机质等具有一定的活化、转运、缓冲作用。可初步判断, 木霉制剂对滨海盐渍土土壤化学性状的调整具有一定的积极作用。

2.3 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田土壤生物性状的影响

从表 4 可知, 测定土壤耕层的生物指标蛋白质、核酸及微生物指标细菌、放线菌、真菌、固氮菌群落不同土样间差异极显著(P<0.000 1)。日光温室土壤内生物丰富, 而其他 4 种滨海盐渍土土壤内生物

表 3 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田耕层土壤主要化学性状的影响

Table 3 Influence of *Trichoderma* agent on major chemical properties of arable layer soil in coastal moderate saline area

指标 Index	试验地点 Test place				
	非盐渍化土日光温室 Non saline solar-greenhouse	滨海重度盐渍土河滩地 Flood land in coastal severe saline area	滨海轻度盐渍土开垦田 Reclaimed field in coastal slight saline area	滨海中度盐渍土台田(T1010) Platform fields in coastal moderate saline area with *Trichoderma*	滨海中度盐渍土台田(CK) Platform fields in coastal moderate saline area
碱解氮 Alkali-hydrolysis nitrogen (mg·kg^{-1})	98.75±6.94A	24.20±0.32B(A)	16.43±1.01B(B)	11.22±0.99CD(C)	5.72±0.54D(D)
有效磷 Available phosphorus (mg·kg^{-}1)	34.30±4.83A	4.88±0.25B(AB)	4.15±0.63B(A)	3.59±0.52B(A)	2.52±0.06B(B)
速效钾 Available potassium (mg·kg^{-1})	385.04±15.97A	105.07±2.24C(C)	183.59±9.98B(A)	155.00±7.85B(B)	75.37±3.55C(D)
有机质 Organic matter (g·kg^{-1})	23.10±2.83A	2.62±0.58C(C)	11.53±1.90B(A)	11.01±1.14B(AB)	6.72±1.67BC(BC)
pH	7.52±0.17C	8.42±0.07B	8.66±0.09AB	8.80±0.02A	8.82±0.02A
含盐量 Water-soluble salt (g·kg^{-1})	1.78±0.41B	21.02±0.29A	1.63±0.12B	0.71±0.05C	0.65±0.05C

括号内不同大写字母为 4 种滨海盐渍区在 0.01 水平差异显著。下同。Letters in brackets indicate significant differences at 0.01 level among four coastal saline soils according to Duncan's method. The same below.

表 4 木霉制剂对滨海中度盐渍土台田耕层土壤主要生物指标的影响

Table 4 Influences of *Trichoderma* agent on major microbiological indexes of arable layer soil in coastal moderate saline area

指标 Index	试验地点 Test place				
	非盐渍化土日光温室 Non saline solar-greenhouse	滨海重度盐渍土河滩地 Flood land in coastal severe saline area	滨海轻度盐渍土开垦田 Reclaimed field in coastal slight saline area	滨海中度盐渍土台田(T1010) Platform fields in coastal moderate saline area with *Trichoderma*	滨海中度盐渍土台田(CK) Platform fields in coastal moderate saline area
蛋白质 Potein (g·kg^{-1})	84.00±2.03A	24.50±0.29B(B)	26.62±1.07B(A)	23.82±0.42B(BC)	22.01±0.26B(C)
核酸 Nucleic acid (g·kg^{-1})	4.42±0.13A	1.10±0.04B(B)	1.23±0.05B(A)	1.11±0.02B(B)	0.99±0.01B(C)
细菌 Bacteria [10^7(CFU)·g^{-1}]	3.95±0.16A	0.03±0.01B(C)	0.65±0.04B(A)	0.77±0.09B(A)	0.28±0.06B(B)
放线菌 Actinomycete [10^6(CFU)·g^{-1}]	2.32±0.12A	0.01±0.001C	0.82±0.23B	0.80±0.07B	0.43±0.06B
真菌 Fungus [10^5(CFU)·g^{-1}]	0.88±0.10A	0.01±0.002C	0.58±0.03B	0.49±0.09B	0.20±0.03C
固氮菌 Azotobacteria [10^6(CFU)·g^{-1}]	7.47±0.77A	0.24±0.04C(C)	1.49±0.21C(B)	3.34±0.52B(A)	0.58±0.25C(BC)

量相对较少，日光温室土壤各生物性状指标均显著高于 4 种滨海盐渍土壤。4 种滨海盐渍土土壤蛋白质含量从大到小依次为：滨海轻度盐渍土开垦田>滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK)，木霉制剂处理台田比对照提高 8.18%。土壤核酸含量从大到小依次为：滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海重度盐渍土河滩地>滨海中度盐渍土台田(CK)；木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与对照相比差异显著(P=0.0283)，比对照提高 12.41%。4 种滨海盐渍土细菌含量各土样相差极显著，木霉制剂处理的滨海中度盐渍土台田与滨海轻度盐渍土开垦田含量最高，分别为 7.67×10^6(CFU)·g^{-1}、6.47×10^6(CFU)·g^{-1}，两者差异不显著；滨海重度盐渍土河滩地细菌量最少，只有 2.8×10^5(CFU)·g^{-1}；木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与对照相比差异极显著(P<0.001)，比对照提高 170.95%。4 种滨海盐渍土放线菌含量从大到小依次为：滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海重度盐渍土河滩地；木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与滨海轻度盐渍土开垦田差异不显著，比对照提高 82.68%；滨海重度盐渍土河滩地放线菌量很少。4 种滨海盐渍土土壤真菌含量从大到小依次为：滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海重度盐渍土河滩地；木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与滨海轻度盐渍土开垦田差异不显著，与对照差异极显著(P=0.005)，比对照提高 152.17%；滨海重度盐渍土河滩地几乎无真菌。4 种滨海盐渍土土壤固氮菌含量木霉制剂处理的滨海中度盐渍土台田最高，达 3.34×10^6(CFU)·g^{-1}；从大到小依次为：滨海中度盐渍土台田(木霉)>滨海轻度盐渍土开垦田>滨海中度盐渍土台田(CK)>滨海重度盐渍土河滩地，木霉制剂处理滨海中度盐渍土台田与滨海轻度盐渍土开

垦田相比差异极显著(P=0.001 2)，比滨海轻度盐渍土开垦田提高 124.39%，与对照差异极显著(P<0.000 1)，比对照提高 471.93%。进一步证实木霉制剂对耕层土壤不同生物群落影响力度不一致，对细菌、放线菌具有一定影响，对固氮菌、真菌影响极大；对真菌群体的影响可能主要来自制剂菌群自身的生存优势，而对其他微生物影响的具体原因有待进一步研究。

3 讨论和结论

在成土过程中土壤微生物发挥巨大的作用，是土壤中最活跃的分子。土壤微生物促进土壤中物质和能量的转化和传递[2]，而真菌是分解土壤有机质的主要微生物[18]。外源微生物加入土壤改变土壤微生物群体结构。刘润进等[4]研究菌根真菌个体，发现其生长形成特有的菌丝桥和菌丝网，带动细菌和放线菌的生长和移动；燕嗣皇等[12]研究表明木霉加入土壤改变了根际微生物群体比例。本试验中，滨海盐渍土台田土壤微生物少，土壤活力差，木霉制剂施入土壤 1 个半月后，即提高土壤微生物数量，特别是促进固氮菌有益微生物的生长，调整微生物群系比例，改善了土壤微生态，形成一个良好健康的生物圈，提高土壤质量和活力。

土壤胶体的凝聚作用改善土壤结构。邱朝霞等[19]研究利用多糖等作为团粒胶结物加入干旱缺水土壤促进土壤颗粒形成团聚体，提高了土壤保水性；冯固等[20]利用丛枝菌根的外生菌丝通过胶结作用使玉米根际土壤颗粒凝聚成团聚体，增加水稳性团聚体数量，提高玉米根系含水量。本试验中，滨海盐渍土河滩地和台田土壤砂粒多，团聚体少，紧实度差，土壤结构差，而日光温室土壤结构好。木霉施入滨海盐渍土台田土壤，定殖、增殖，1 个半月后木霉形成的菌丝体与其他微生物个体通过吸附、缠绕、贯穿等方式捕捉土壤分散颗粒使之凝聚成团粒，促进土壤颗粒形成团聚体，微生物分解有机质形成团粒胶结物，同时微生物菌丝体和分泌的黏液也具胶结作用，提高土壤颗粒之间黏合力[21]，土壤团粒体增加，水稳性团聚体数量增加，土壤容重降低，土壤总孔隙度提高与日光温室持平，土壤紧实度大幅度提高与土壤块状结构的滨海盐渍土开垦田持平，明显高于滨海盐渍土河滩地。且木霉制剂处理下土壤吸水能力提高，具有保土护土减少水土流失的作用[22]。

研究表明土壤微生物在生长过程中产生各种有机酸，与矿物中的盐离子形成螯合物，加速矿物的分解过程，微生物代谢过程产生CO_2，增加环境中的碳酸含量，促进矿物的水解作用[18]。滨海盐渍土台田营养贫瘠，矿物质丰富但难溶于水。本试验中木霉制剂处理组将滨海盐渍土台田土壤中不可利用态钾和磷转化为可利用态有效磷和速效钾，提高土壤速效钾和磷含量，这与陈建爱等[13]研究利用木霉降低土壤营养甚高的日光温室的结论不同；木霉在土壤增殖促进了固氮菌的生长，增加了土壤固氮作用，提高了土壤中碱解氮的含量；微生物通过自身代谢和菌丝死亡，释放各种有机物，增加土壤营养种类和数量。木霉和土壤其他微生物群落的增加促进土壤中物质转化和传递，扩大了营养物质的来源、数量和传递途径[23]，提高滨海盐渍土台田土壤养分。

滨海盐渍土通过修筑台田，加深了地下咸水的埋深，本试验春初滨海盐渍土台田含盐量为 2.99 $g\cdot kg^{-1}$，滨海盐渍土河滩地含盐量为 26.19 $g\cdot kg^{-1}$，台田脱盐效果显著。春季引黄灌溉洗盐及夏季降雨淋洗，滨海盐渍土台田含盐量进一步降低。本试验中花生生长旺季，滨海盐渍土台田含盐量为 0.65 $g\cdot kg^{-1}$，而滨海盐渍土河滩地含盐量仍很高，为 21.02 $g\cdot kg^{-1}$。但滨海盐渍土台田营养贫瘠，土壤结构差，不利于作物生长。因此，滨海盐渍土台田进行种植业开发，土壤需加入微生物外源因子，加速活化土壤，加快提高土壤质量和活力。木霉与滨海盐渍土台田土壤混合后定殖、增殖成为土壤中优势群体。木霉具有缓冲肥效的作用，能长时间作用于土壤为其他微生物提供营养、改善土壤结构，使土壤养分更丰富、稳定性提高，利于作物生长发育[24]，提高作物产量和品质[24–25]。本试验木霉制剂处理台田，改善了土壤微生态，为改良土壤生态发挥作用。滨海盐渍土台田边的深沟含盐量大，台田冬春季还存在返盐现象，且降碱效果不明显，同时土壤有机质含量少，为了更好发挥木霉等微生物改造滨海盐渍土台田土壤性状的作用，还需要投入更多有机质，并合理设计台田的高度，增加其他降碱技术。

参考文献 References

[1] 董晓霞，王学君，刘兆辉，等. 滨海盐荒地不同高度台田地下水动态变化与脱盐效果[J]. 中国生态农业学报，2011, 19(6): 1354–1358
Dong X X, Wang X J, Liu Z H, et al. Dynamics of groundwater table and soil desalination of platform fields in coastal wasteland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6): 1354–1358

[2] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997(2): 61–69
He Z L. Evaluation of the significance of soil microbial biomass in nutrient cycle and environmental quality[J]. Soils, 1997(2): 61–69
[3] Dilly O, Munch J C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 1998, 27(4): 374–379
[4] 刘润进, 陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 163–199
Liu R J, Chen Y L. Mycorrhizology[M]. Beijing: Science Press, 2007: 163–199
[5] Elad Y. Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action[J]. Crop Protection, 2000, 19(8): 709–714
[6] 张瑾, 张树武, 徐秉良, 等. 长枝木霉菌抑菌谱测定及其抑菌作用机理研究[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 661–667
Zhang J, Zhang S W, Xu B L, et al. Determining antifungal spectrum and mechanism of *Trichoderma longibrachiatum in vitro*[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(6): 661–667
[7] Harman G E, Howell C R, Viterbo A, et al. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts[J]. Nature Reviews Microbiology, 2004, 2: 43–56
[8] Björkman T, Blanchard L M, Harman G E. Growth enhancement of *shrunken*-2 (*sh*2) sweet corn by *Trichoderma harzianum* 1295–22: Effect of environmental stress[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1998, 123(1): 35–40
[9] Yedidia I, Srivastva A K, Kapulnik Y, et al. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants[J]. Plant and Soil, 2001, 235(2): 235–242
[10] Zaidi A, Khan M S, Aamil M. Bioassociative effect of rhizospheric microorganisms on growth, yield, and nutrient uptake of greengram[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27(4): 601–612
[11] 陈为京, 陈建爱, 杨焕明. 土壤生态改良剂 T1010 对寿光日光温室土壤环境的改良效果[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 399–401
Chen W J, Chen J A, Yang H M. Effect of soil ecology modifier T1010 on soil environment improvement in solar-greenhouse in Shouguang City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(2): 399–401
[12] 燕嗣皇, 吴石平, 陆德清, 等. 木霉生防菌对根际微生物的影响与互作[J]. 西南农业学报, 2005, 18(1): 40–46
Yan S H, Wu S P, Lu D Q, et al. Effects of biocontrol strain of *Trichoderma harzianum* on microflora in rhizosphere and its interactions with microbe[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, 18(1): 40–46
[13] 陈建爱, 祝文婷, 李润芳, 等. 黄绿木霉 T1010 定殖动态及其对日光温室耕层土壤结构性状的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 649–653
Chen J A, Zhu W T, Li R F, et al. Develop-trend of *Trichoderma aureoviride* 1010 colonization and effect on solar-greenhouse arable layer soil environment by regulating soil bulk density and water stable aggregate[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(2): 649–653
[14] 张逸飞, 钟文辉, 王国祥. 微生物在污染环境生物修复中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 198–202
Zhang Y F, Zhong W H, Wang G X. Application of microorganism in bioremediation of contaminated environment[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 198–202
[15] 陈建爱, 王未名, 刘益同. 生物复合肥木霉 T1010 对花生生长的影响[J]. 花生学报, 2008, 37(3): 29–32
Chen J A, Wang W M, Liu Y T. Effect of *Trichoderma aurevirde* 1010 compound fertilizer on growth of peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2008, 37(3): 29–32
[16] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 23–36
Shao M A, Wang Q J, Huang M B. Soil Physics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 23–36
[17] 劳家柽. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 121–391
Lao J C. Handbook of Soil Agro-chemistry Analysis[M]. Beijing: Agriculture Press, 1988: 121–391
[18] 李法虎. 土壤物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 9–31
Li F H. Physical Chemistry of Soil[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 9–31
[19] 邱朝霞, 张若冰, 邱海霞, 等. 含蒙脱土和多糖的保水剂对土壤物理性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(6): 11–16
Qiu Z X, Zhang R B, Qiu H X, et al. Effects of superabsorbents containing montmorillonite and polysaccharide on soil physical properties[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013(6): 11–16
[20] 冯固, 张玉凤, 李晓林. 丛枝菌根真菌的外生菌丝对土壤水稳性团聚体形成的影响[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 99–102
Feng G, Zhang Y F, Li X L. Effect of external hyphae of Arbuscular mycorrhizal plant on water-stable aggregates in sandy soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(4): 99–102
[21] 邓超, 毕利东, 秦江涛, 等. 长期施肥下土壤性质变化及其

对微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2013, 45(5): 888–893

Deng C, Bi L D, Qin J T, et al. Effects of long-term fertilization on soil property changes and soil microbial biomass[J]. Soils, 2013, 45(5): 888–893

[22] 朱咏莉, 刘军, 王益权. 国内外土壤结构改良剂的研究利用综述[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 140–142

Zhu Y L, Liu J, Wang Y Q. Summary of soil structure conditioners utilization[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(6): 140–142

[23] Pratt R G. Fungal population levels in soils of commercial swine waste disposal sites and relationships to soil nutrient concentrations[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 38(3): 223–229

[24] 陈建爱, 郭峰, 杨武汉, 等. 木霉对滨海盐渍土花生生长发育调控效应的研究[J]. 花生学报, 2014, 43(4): 19–25

Chen J A, Guo F, Yang W H, et al. Regulation effect of *Trichoderma* on the growth of peanut in coastal saline soil[J]. Journal of Peanut Science, 2014, 43(4): 19–25

[25] 刘利军, 洪坚平, 闫双堆, 等. 应用微生物肥料提高砀山酥梨品质的研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 72–74

Liu L J, Hong J P, Yan S D, et al. Enhancing effects of microbial fertilizer on Dangshan crisp pear quality[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(4): 72–74